

I-A 355 曲げを受ける鋼 I 桁高力ボルト継手の限界強度の評価

駒井鉄工 正会員 秋山寿行
大阪大学工学部 正会員 西村宣男

1. まえがき： 鋼 I 桁の高力ボルト摩擦接合継手に関して、現行設計法においては曲げ作用力に対してフランジと腹板は個別に設計している。しかし、曲げを受ける I 桁のボルト継手のすべり挙動は、フランジと腹板とが独立したものではなく、協同的なものである。また、ボルト継手の引張実験の結果からも明らかに、継手のすべり現象と母材の降伏現象は独立したものではなく、継手の限界強度に対してすべり強度・降伏強度比 β が重要なパラメータになっている。したがって、すべりに関するフランジと腹板の協同作用およびすべりと降伏の関係を考慮することにより、I 桁のボルト継手の設計を合理的に行うことができるものとする。本文では、I 桁の高力ボルト継手を対象とした曲げ耐力実験の結果¹⁾より、I 形断面におけるすべり強度および引張フランジの有効断面積の評価法について述べる。

2. 曲げ継手のすべり強度： 図-1に示す I 形断面の高力ボルト継手を対象とした曲げ耐力実験より得られた各種限界状態荷重を表-1に示す。ここに、MBS タイプは継手において引張フランジの降伏が発生する前にすべりが生じるタイプ、MFY タイプはすべりと引張フランジの降伏がほぼ同時に発生するタイプである。

すべり荷重の実験値は公称値を34%～68%上回っている。すべりがフランジ断面の降伏に先行するように計画したMBSタイプでは、すべり荷重はフランジ断面の降伏荷重より大きい。また、MFYタイプでもすべり荷重は公称値を34%～48%上回っている。この実験結果より I 桁のボルト継手では、フランジ継手のすべり抵抗が限界に達しても、直ちにすべりが生じるのではなく、フランジおよび腹板のすべり抵抗がともに限界に達した時に、すべりが発生すると考えられる。このフランジと腹板の協同作用を考慮し、I 桁の曲げ継手のすべり強度 M_{SL} の評価法を式(1)のように考える(図-2)。

$$M_{SL} = n_{fu} \rho_{fu} h_{fu} + n_{fl} \rho_{fl} h_{fl} + \sum n_{wi} \rho_{wi} h_{wi} \quad (1)$$

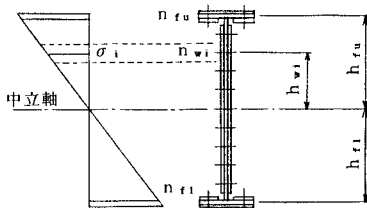


図-2 すべり強度の算定

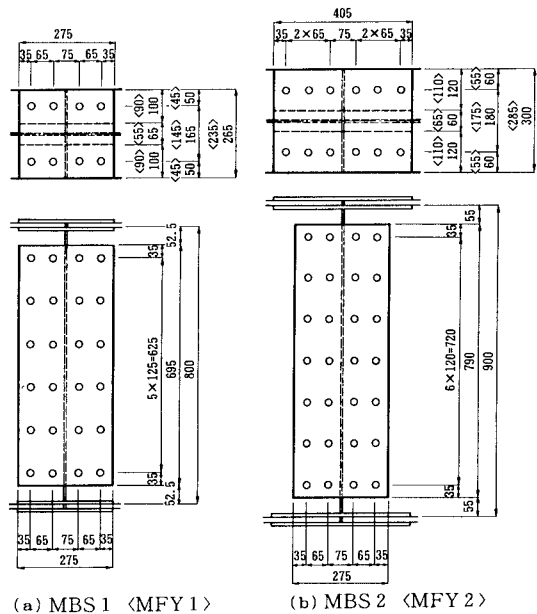


図-1 高力ボルト継手の形状

表-1 各種限界状態荷重

(単位: tf・m)

		MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
フランジ総断面 降伏荷重	計算値1	86.1	122.5	69.1	105.1
	計算値2	93.1	136.1	78.8	112.1
	実験値	82.6	117.4	66.2	102.6
フランジ純断面 降伏荷重	計算値1	71.1	103.7	55.5	88.1
	計算値2	77.0	115.2	63.4	94.0
	実験値	77.6	111.2	62.5	102.3
すべり荷重	計算値1	52.2	86.1	54.9	88.6
	実験値	87.6	127.4	73.6	130.9
最大荷重	実験値	105.5	140.4	76.1	132.5

注) 計算値1: 公称材料強度と設計断面による計算値
計算値2: 材料試験強度と実測断面による計算値

ここにボルト1本当たりのすべり抵抗 ρ は、すべり強度・降伏強度比 β を考慮したすべり係数 μ を用いて算出する²⁾。

4つの実験供試体を対象にして、この評価法によりすべり強度の算定を行った結果を表-2に示す。すべり強度の推定値は試算2回目で収束値に近い値が得られている。また、実験値との差は5%以下であり、両者の値はほぼ等しい。したがって、I桁のボルト継手のすべり強度の評価法として本提案法は有効であると思われる。

表-2 すべり強度の推定

	(単位: tf・m)			
	MBS1	MBS2	MFY1	MFY2
実験値	87.6	127.4	73.6	130.9
現行設計法の値	56.1	87.2	62.2	97.2
試算1回目	96.4	136.5	81.4	135.6
試算2回目	92.0	131.3	73.9	131.2
試算3回目	92.8	132.1	75.7	131.5
試算4回目	92.6	132.0	75.3	131.5

3. 引張フランジの有効断面積： 引張フランジ純断面の降伏荷重の実験値は、道路橋示方書に基づく降伏荷重(計算値1)を上回り、引張フランジ総断面の降伏荷重の実験値に近い。このことより、純断面積を有効断面積とした場合、ボルト継手の降伏強度はかなり安全側に評価されることが明らかである。ここで、引張フランジの有効断面積比(A_e/A_n)は式(2)より式(3)とする。ここに M_{Yn} および M_{Yg} は引張フランジの純断面降伏強度および総断面降伏強度である。 A_e 、 A_n および A_g は引張フランジの有効断面積、純断面積および総断面積である。

$$\frac{A_e}{A_g} = \left(\frac{M_{Yn}}{M_{Yg}} \right) \quad \square \quad (2)$$

$$\frac{A_e}{A_n} = \left(\frac{M_{Yn}}{M_{Yg}} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_n} \right) \quad (3)$$

MFYタイプを対象にして有効断面積比を計算した結果を表-3に示す。有効断面積比は1.18前後であり、AASHTOの規定に基づく値とほぼ同じである。これに対してデータのばらつきなどを考慮して $A_e/A_n = 1.1$ とするのが妥当であると思われる。

表-3 引張フランジの有効断面積比

タイプ	A_n/A_g	M_{Yn}/M_{Yg}	A_e/A_n	備考
MFY1	0.804	0.944	1.17	1.19
MFY2	0.839	1.000	1.19	1.18

注) 備考欄の値は、AASHTOの規定に基づいて算出した値である。

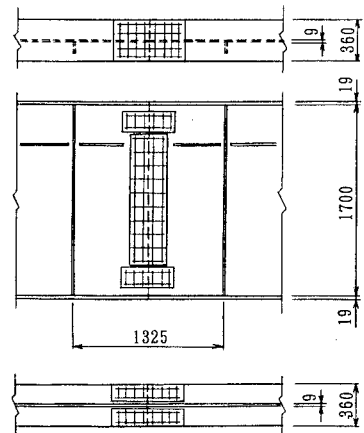


図-3 I桁の継手の試設計の形状

4. I桁の高力ボルト継手の試設計： 図-3のI桁の高力ボルト継手に対し、本提案に基づいて試設計を行った結果を表-4に示す。ここに母材の鋼種はSM490Y、高力ボルトはM22(F10T)である。本提案法による断面のボルト本数は現行設計法による本数よりも少ないが、すべり抵抗モーメントは設計曲げモーメント以上を確保している。引張フランジの板厚について本提案法に基づく場合、フランジの曲げ応力度が降伏応力度の80%未満のケースで、増厚が不要であると考えられる。

5. あとがき： 鋼I桁高力ボルト摩擦接合継手に対し、フランジと腹板の協同作用を考慮したすべり強度およびボルト孔を有する引張フランジの有効断面積比の評価法を提案した。これらの提案により、鋼I桁の高力ボルト継手の設計を合理的に行うことができるものと考えられる。

【参考文献】 1) 西村・秋山・亀井・高木：鋼I桁の高力ボルト摩擦接合曲げ継手部の限界状態に関する実験，鋼構造年次論文報告集，第1巻，pp.23-30，1993.7. 2) 秋山・西村・亀井・池端：高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態の区分，鋼構造年次論文報告集，第3巻，pp.289-296，1995.11.

表-4 I桁の継手の試設計の結果

フランジ上下端の曲げ応力度 降伏応力度		90%	80%	75%
設計曲げモーメント (tf・m)		300	267	250
現 行 設 計 法	フランジ			
	必要ボルト本数 (本)	13.0	11.8	11.1
	設計ボルト列数 (列)	4	3	3
	継手部必要板厚 (mm)	23.6	21.1	19.7
	設計板厚 (mm)	24	22	20
	腹板のボルト列数 (列)			
	モーメントプレート	3	3	3
	シャーププレート	2	2	2
	本提案法により算出した すべり抵抗モーメント(tf・m)	415	377	369
	フランジ			
提 案 法	設計ボルト列数 (列)	2	2	2
	継手部必要板厚 (mm)	21.5	19.1	17.9
	設計板厚 (mm)	22	20	19
	腹板のボルト列数 (列)			
	モーメントプレート	2	2	2
	シャーププレート	2	2	2
	すべり抵抗モーメント(tf・m)	314	313	311